

ICS 73.020

CCS D 10

**NB**

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 10706—2021

---

## 地热井固井技术规范

Technical specification for cementing geothermal well

2021-11-16 发布

2022-05-16 实施

---

国家能源局 发布

目 次

前言 .....II

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 固井施工设计 ..... 1

5 固井准备 ..... 4

6 固井施工 ..... 5

7 固井质量验收 ..... 6

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国石油化工集团有限公司提出。

本文件由能源行业地热能专业标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中国石化集团新星石油有限责任公司、辽河石油勘探局有限公司、中国石油天然气股份有限公司规划总院、陕西省煤田地质集团有限公司、北京市工程咨询有限公司、北京玛斯莱特科技有限公司。

本文件主要起草人：李红岩、马永超、谭扬军、赵丰年、李晓晨、解红军、吕毫龙、刘海洋、张磊、王登峰、熊轲、杨卫、张海雄、张晓宏、王鹏、李天舒、魏江东。

本文件于 2021 年首次发布。

# 地热井固井技术规范

## 1 范围

本文件规定了地热井的固井设计、固井准备、固井施工和固井质量验收的技术规范。  
本文件适用于水热型地热井的固井设计和施工。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 19139 油井水泥试验方法  
DZ/T 0260 地热钻探技术规程  
SY/T 5374.1 固井作业规程 第1部分：常规固井  
SY/T 5374.2 固井作业规程 第2部分：特殊固井  
SY/T 5412 下套管作业规程  
SY/T 5467 套管柱试压规范  
SY/T 5724 套管柱结构与强度设计  
SY/T 5840 固井设计规范  
SY/T 6592 固井质量评价方法  
SY/T 6641 固井水泥胶结测井资料处理及解释规范

## 3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

## 4 固井施工设计

### 4.1 基础资料

需收集的基础资料主要包括：

- a) 钻井地质设计书、钻井工程设计书；
- b) 井身结构；
- c) 上层套管的套管串结构及钢级、壁厚、机械性能、套管损伤情况；
- d) 地质分层及岩性、地层孔隙压力、测（录）井资料、井史、完钻时的排量和泵压、钻井液性能、钻具结构、温度等数据。

#### 4.1.1 井底温度

井底温度包含井底静止温度和井底循环温度，井底静止温度以实测为主，或用地温梯度法计算，井底循环温度用经验推算法或数值模拟法确定，根据大值选取水泥型号。

4.1.1.1 地温梯度法。井底静止温度地温梯度法计算见式（1）：

$$T_z = T_b + D_T \times H \quad \text{..... (1)}$$

式中：

$T_z$ ——井底静止温度，℃；

$T_b$ ——地表平均温度，地表以下 100m 处恒温层的温度，℃；

$D_T$ ——地温梯度，℃/m；

$H$ ——垂直井深，m。

4.1.1.2 经验推算法。井底循环温度经验推算法计算见式（2）：

$$T_x = T_c + H/168 \quad \text{..... (2)}$$

式中：

$T_x$ ——井底循环温度，℃；

$T_c$ ——钻井液循环出口温度，取循环 1 周～2 周的出口温度，℃；

$H$ ——垂直井深，m。

或：

$$T_x = T_z \times \kappa \quad \text{..... (3)}$$

式中：

$T_x$ ——井底循环温度，℃；

$T_z$ ——井底静止温度，℃；

$\kappa$ ——地区经验系数，取值范围一般为 0.75～0.90。

4.1.1.3 数值模拟法。采用专用设计软件中的温度模拟器计算井下循环温度。

## 4.1.2 压力

根据钻井地质设计、钻井工程设计、实钻资料、测井资料评估或验证地层孔隙压力、估算破裂压力。

## 4.2 前置液用量设计

技术套管固井时前置液用量应占环空高度 300m 以上，生产套管固井时前置液用量应占环空高度 450m 以上，或按照紊流接触时间不小于 10min 计算。

## 4.3 水泥浆设计

### 4.3.1 水泥标号选择

表层套管固井选用普通水泥，井深 2000m 以浅且温度不高于 75℃时选用普通水泥，其他情况选用油井水泥。

### 4.3.2 水泥浆性能要求

水泥浆要求按 GB/T 19139 执行，主要包括温度、密度、稠化时间、滤失量、抗压强度、流变性能、和水泥浆沉降稳定性等。

### 4.3.3 水泥浆密度设计

固井水泥浆密度至少应比同井使用的钻井液密度高 20% 以上。

### 4.3.4 水泥用量

为计算水泥用量需先计算出固井所需的水泥浆量（水泥浆体积）。

#### 4.3.4.1 水泥浆量。水泥浆量计算见式（4）～式（6）：

$$V_{sl} = V_{sla} + V_{slp} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$V_{sl}$ ——固井所需水泥浆量， $m^3$ ；

$V_{sla}$ ——环空水泥浆量， $m^3$ ；

$V_{slp}$ ——管内水泥塞体积， $m^3$ 。

根据电测井径，将环空水泥浆封固段分为若干段（设为  $n$  段），环空水泥浆量为：

$$V_{sla} = \frac{1}{10000} \sum_{i=1}^n \frac{\pi}{4} (D_{hi}^2 - D_c^2) h_i \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$D_{hi}$ ——井径，cm；

$D_c$ ——套管外径，cm；

$h$ ——环空段高度，m；

$i$ ——下标，表示环空段的序号。

管内水泥塞体积为：

$$V_{slp} = \frac{\pi}{40000} D_{pl}^2 h_p \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$D_{pl}$ ——水泥塞处套管内径，cm；

$h_p$ ——水泥塞高度，m。

#### 4.3.4.2 水泥用量。计算干水泥的用量时视配浆水的密度值为 $1g/cm^3$ ，水泥用量计算见式（7）：

$$W_c = \frac{\rho_{sl}}{1+m} V_{sl} = \frac{\rho_c}{1+\rho_c m} V_{sl} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$W_c$ ——水泥用量，t。

配浆水用量计算见式（8）：

$$W_w = m W_c \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$W_w$ ——配浆水用量， $m^3$ 。

在现场，实际水泥准备量和配浆用水准备量都要在理论计算的基础上附加一定数量，一般附加 0.1～0.2。

### 4.4 施工压力

施工压力设计应做到固井前压稳、固井过程中压稳和候凝过程中压稳。环空静液柱压力与环空流动阻力之和应小于地层破裂压力。

#### 4.5 施工排量

施工排量选用紊流临界排量，按钻井手册规定计算。

#### 4.6 技术套管固井设计

为保证重叠段固井质量，技术套管应预留 20m~30m 上塞。

#### 4.7 生产套管固井设计

生产套管固井时，封固段顶部水泥 24h~48h 抗压强度应不小于 7MPa，热储层段水泥 24h~48h 抗压强度应不小于 14MPa，其养护压力和温度依据井深条件而定。

若生产套管含有筛管井段，固井注水泥浆时应采用井下分隔工具隔离该井段，并严格计算水泥浆及顶替液用量。

#### 4.8 候凝方式

一般应采取管内敞压方式候凝，有条件时应在环空憋入一定压力候凝。

### 5 固井准备

#### 5.1 井眼准备

井眼准备按 SY/T 5374.1 执行。

#### 5.2 设备准备

##### 5.2.1 提升、动力系统

下套管和固井作业前应对提升系统及动力系统进行检查保养。

##### 5.2.2 循环系统

固井作业前应对钻井泵、循环灌、循环管线、水龙头等循环系统进行检查保养；连接各钻井液罐的闸门应灵活可靠；实测各钻井泵的上水效率。

##### 5.2.3 仪器仪表

下套管和固井作业前应对所有钻井仪器仪表进行认真仔细的检查保养，保证完好。

##### 5.2.4 配注系统

固井前应对供水车、压风机、配浆车、批混车、注浆车、管线、闸门、流量计等仪器设备进行全面检查，保证连续施工的要求。

##### 5.2.5 水泥头

水泥头的额定工作压力应达到以下要求：公称直径 339.7mm 的水泥头试压 21MPa；公称直径 244.5mm 和 177.8mm 的水泥头试压 35MPa；公称直径小于 177.8mm 的水泥头试压 49MPa。水泥头应每井次保养一次并定期试压、探伤。水泥头在送井前应进行全面检查、保养。其螺纹应与所连接套管、钻具的螺纹一致，所有阀门应做到开关灵活。水泥头内的胶塞应装配合格，胶塞挡销应能够灵活打开。

### 5.3 套管准备

按 SY/T 5412 要求对送井套管逐项进行检查。

### 5.4 固井材料

固井前做好以下固井材料准备工作：

- a) 下套管前，应根据固井设计，取现场水、水泥及外加剂，做好水泥浆、前置液实验工作，性能达到设计要求；
- b) 装水泥前，应将储灰罐清扫干净；
- c) 在准备配浆水前，应将所有的储水装置清洗干净；
- d) 井场储备水泥存放超过 20d，应倒罐一次以上；
- e) 注水泥前，配好配浆水，混配好水泥样，并进行大样复查实验；
- f) 现场配制的配浆水超过 3d，应进行二次大样复查实验；
- g) 注水泥前，应根据固井设计要求，配制好前置液。

### 5.5 注水泥准备

- a) 检查、核对钻井液性能和钻井泵排量；
- b) 应按不小于预计最高施工压力的 1.2 倍对注水泥管线试压。

## 6 固井施工

### 6.1 下套管作业

下套管作业按照 SY/T 5412 执行。

### 6.2 固井交底会

在下完套管注水泥前，召开固井交底会，参加人员包括钻井、固井、地质、钻井液、录井、工具等监督和技术人员，交底会主要包括：

- a) 通报下套管情况；
- b) 通报固井作业准备情况；
- c) 通报固井设计中注水泥施工程序和要求，明确参加注水泥施工各方的职责；
- d) 通报固井配合岗位人员落实情况；
- e) 强调固井作业中需要注意的问题。

### 6.3 固井施工作业程序

固井施工作业程序按照 SY/T 5374.1 执行，并严格按照固井设计施工作业。注水泥作业应按设计连续施工，水泥浆密度应保持均匀，平均密度与设计密度误差不超过  $0.03\text{g/cm}^3$ 。

### 6.4 计量

采用仪表计量和人工计量方式同时计量注替参数和数量并相互核对，应采用固井压力、排量、密度实时采集系统连续监控施工过程。

### 6.5 候凝



一般采用井口敞压方式候凝，候凝时间应不少于 24h。当浮箍失效时，采用憋压方式候凝，控制套管内压力高于管外静压力 2.0MPa~3.0MPa，并有专人观察井口压力，按要求及时放压。

## 6.6 施工资料整理

固井施工资料整理按 SY/T 5374.1 附录要求执行。

## 7 固井质量验收

### 7.1 水泥返高验收

#### 7.1.1 表层套管

表层套管固井水泥要求返至地面。

#### 7.1.2 技术套管和生产套管

地热井各开次间套管主要通过悬挂器相连，固井时水泥要求返至悬挂器以上并符合设计要求。

### 7.2 水泥环胶结质量评价

水泥环胶结质量评价参照 SY/T 6592 执行，以声幅测井和声波变密度测井综合解释水泥胶结质量，经声幅测井和声波变密度测井后仍不能明确鉴定胶结质量及其他特殊情况下，可用扇区水泥胶结测井或其他方法鉴定。水泥胶结测井时，候凝时间不少于 24h。

### 7.3 技术套管顶部和底部固井质量验收

技术套管顶部 30m 和底部 30m 胶结不合格应视为固井不合格，应采取挤水泥等措施。

### 7.4 筛管井段固井质量验收

若生产套管中含有筛管井段，在验收固井质量时应检测筛管井段是否被封堵，无堵塞现象则固井质量合格。

### 7.5 固井质量统计

固井质量统计考核一次合格率和优质率。固井质量不合格的经过补救措施达标者，可视为合格。